

CAE 및 응용역학부문

이 글에서는 2005년도 한 해 동안 CAE 및 응용역학 분야의 연구 동향을 고체역학 및 연속체역학, CAE 기반 최적설계, 실험역학, 복합재역학, Nano역학, 원자력 구조해석 및 설계, 충돌역학, 생체역학, 자연모사공학, 전산역학 그리고 복합물리장 해석 및 설계 등으로 나누어 정리한다.

고체역학 및 연속체역학

고체역학이나 연속체역학의 범위는 다양하고 단순한 하나의 연구주제를 이루기보다는 많은 응용분야로 확장하고 있다. 고체역학 분야의 연구는 전통적으로 탄소성 및 점탄성 변형거동에 관한 연구와 이와 관련된 응용분야의 연구를 들 수 있고 연속체역학은 재료거동을 표현하는 수학적이고 물리적인 방법들로서 여러 분야의 기본이 되고 있다. 이 분야의 연구에 있어서 중요한 특징은 연구 분야가 분기되고 세분화되면서 그 영역도 꾸준히 확충되어 왔다는 점이다. 그 연구 주제가 유한요소법을 중심으로 한 CAE 응용 분야, 전기·전자·광학 분

야와 기구설계를 포함한 메카트로닉스 분야, 금속재에서 세라믹, polymer를 포함한 다양화 그리고 기존의 mm 단위에서 nm단위로의 스케일 확장, 그리고 응력과 전자기장이 복합된 복합물리장 분야 등으로 확산되고 있으며 이제는 모든 분야의 연구가 서로 유기적으로 연관되어 있어 엄격한 구분이 점점 어려워지고 있다. 이에 따라 CAE 및 응용역학 부문의 세부분야를 계속 변경 보완하고 있다.

기계학회를 중심으로 관련 학회의 2005년 발표된 논문을 조사한 결과 CAE 및 응용역학 부문의 연구의 대부분이 CAE와 결합되어 있고 첨단 전자제품의 핵심부품 설계제작에 관련된 연구

가 주종을 차지하고 있다. 그중에서 형상 및 위상 최적설계 분야, 마이크로 구조물 및 부품의 설계 제작, MEMS와 나노구조의 작동 특성 해석 및 제조공정개발, 그리고 복합 물리장 해석 분야가 활성화되었다. 이들 분야의 연구 동향은 이어지는 세부분야의 활동 상황을 참고하기 바란다.

정확하게 분리하기에는 무리가 있으나 전통적인 고체역학 및 연속체역학 분야의 이론연구는 꾸준히 진행되었다. 고체역학 분야의 연구는 각종 재료의 탄성, 탄소성, 점탄성, 점소성 모델에 온도, 변형률, 변형률속도, porosity, 상변태를 포함하는 보다 복잡하고 포괄적인 구성방정식에 관한 연구가 진행되었다. 특히 금

속재료의 ECAP(Equi Channel Angular Pressing)을 통한 미세구조 개선에 관한 연구가 진행되었다. 또한 연속체역학 부분의 연구는 multi-resolution 모델링과 균질화기법을 사용한 유효재료상수 예측, 고무재료의 찢김 에너지 정식화, 그리고 pseudo-spectral 방법을 사용한 티모셴코빔에 대한 연구가 보고되었다.

[정동택, 한국기술교육대학교]

CAE 기반 최적설계

2005년도 CAE기반 최적설계 관련 분야 활동은 지금까지의 연구 내용과 큰 차이를 보이지 않고 있다. CAE기반의 해석이 다물리장(multi-physics) 해석 및 나노/바이오 영역으로 확장되어 나아가는데 비하여 이러한 분야에서의 최적설계의 응용은 모터 등의 전기기기의 설계나 액추에이터, 센서 등의 전자기장 응용기기의 설계에 일부 적용되고 있으나 아직 활성화되지는 않고 있다. 그러나 최적화 기법에 대한 연구와 특히, 이를 실제 제품설계에 적용하는 연구가 점차로 확대되고 있음을 확인할 수 있다.

최적설계 방법론 개발

최적설계 방법론에 대한 연구는 크리깅(kriging), 응답량 재사용, 반응표면법 등에 의한 순차적 최적설계 기법에 대한 연구가 제시되었고 유전 알고리즘(genetic

algorithm)의 개선을 이용한 최적설계 기법의 개발에도 찾아볼 수 있다. 또한 최적설계에서 중요시되는 전역 최적화(global optimization)를 위한 크리깅 기법의 사용, 순차적 알고리즘(sequential algorithm with orthogonal arrays) 등의 적용이 연구되었다. 또한 비선형 문제의 효과적인 최적화를 위한 등가선형성을 이용한 최적설계의 연구를 확인할 수 있다.

위상 최적설계(topology optimization) 분야에서는 재료 조각법(material cloud method), 요소연결 매개법(element connectivity parameterization method)과 같은 기존의 위상최적설계 방법과 다른 개념을 사용한 연구가 수행되었다.

최적설계에 의한 제품설계

CAE기반 최적설계에 적용된 설계대상은 인공위성의 구조체, 원통용기, 축, 자동차 구조물, 압연기와 같은 일반적인 구조물에 대한 적용이 많이 연구되었다. 그러나 각각의 연구에 사용된 방법론은 위상최적설계, 시뮬레이티드 아닐링(simulated annealing), 유전 알고리즘 등 다양한 최적설계의 방법이 고루 사용되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, optical flying head의 air bearing, 리니어 모터의 형상설계 등의 전통적인 기계 분야가 아닌 전기 관련 분야에서의 최적설계

가 활발히 적용되고 있다.

이러한 현상은 CAE 기반의 최적설계가 기존의 방법론의 개발과 단순한 구조물의 적용이라는 기초적인 단계에서 점차 기계 및 기타 제품설계의 분야로까지 폭넓게 확대되어 가고 있음을 의미하며, 강건설계, 신뢰성 설계와 같은 산업 현장에서 필요로 하는 설계 기술들과의 접목을 통하여 무한한 적용 가능성을 가지고 있음을 보여주고 있다.

[유정훈, 연세대학교]

실험역학

실험역학은 이론과 현장을 연결시키는 데 반드시 필요한 학문이며, 제품의 성능평가나 강성평가 즉 제품의 안전성을 추구하는데 반드시 필요한 영역이다. 그래서 1276년 Roger Bacon은 실험의 중요성을 아래와 같이 말하였다.

“The scholar who does not know mathematics does not know any science but without experiment nothing can be adequately known.” 컴퓨터와 이론이 아무리 발달하더라도 그 이론의 유효성을 확인하기 위해서는 반드시 실험적 검증이 있어야 한다. 특히 나노사이즈와 MEMS 분야의 이론 검증에서는 실험역학이 더욱더 필요한 학문이다. 그래서 여기에서는 2005년 7월부터 2006년 6월까지

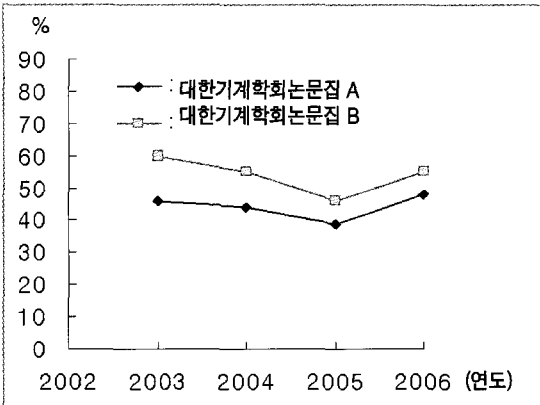


그림 1 전체 논문편수에 대한 실험논문 편수

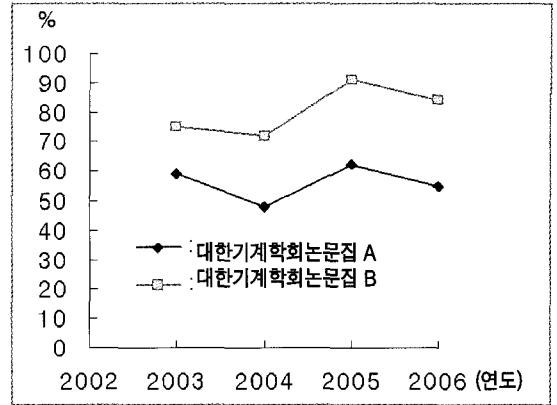


그림 2 실험논문 편수에 대한 순수 실험논문 편수

지의 대한기계학회논문집 A와 B에 투고된 논문 중에서 실험에 관련된 논문들을 분석하여 우리나라의 기계공학의 실험역학의 현 위치와 실험역학이 나아가는 방향을 제시하고자 한다.

매월 대한기계학회논문집 A와 B에 수록된 실험논문을 연구와 산업현장에 관련된 실험논문으로 구분하고 연구와 산업현장에 관련된 실험논문을 순수 실험논문(E), 실험이 이론보다 비중이 더 큰 논문(F), 이론이 실험보다 더 비중이 더 큰 논문(G) 등으로 구분하였다.

대한기계학회논문집 A와 B의 1년간 총 논문편수에 대한 실험 논문 편수 비율은 각각 48 (39, 44, 46)%와 55(46, 55, 60)%이다. 괄호안의 숫자는 각각 2005년도, 2004년도 그리고 2003년도의 데이터를 나타낸다. 논문집 A와 B의 순수연구에 가까운 실험논문의 비율은 각각

33(20, 32, 30)%, 46(34, 39, 45)%이다. 논문집 A와 B의 산업 현장에 관계되는 실험 논문의 비율은 각각 15(19, 12, 16)%, 9(12, 16, 15)이다. 대한기계학회 논문집 A와 B의 1년간 총 논문 편수에 대한 순수실험 논문 편수 비율은 각각 26(24, 22, 27)%와 46(51, 36, 45)%이다. 논문집 A와 B의 연구 분야의 총 논문집 편수에 대한 실험논문의 비율은 각각 15(15, 17, 19)%와 38(31, 27, 44)%이다. 논문집 A와 B의 산업분야의 총 논문집 편수에 대한 실험논문의 비율은 각각 11(9, 5, 8)%와 8(18, 9, 14)%이다. 논문집 A와 B의 연구분야의 실험논문의 총 편수에 대한 순수실험의 논문편수의 비율은 32(39, 37, 42)%와 67(58, 53, 54)%이다. 그리고 산업분야의 실험논문의 총 편수에 대한 순수실험의 논문편수의 비율은 24(23, 11, 17)%와 17(33, 19, 21)%이다.

논문집 A와 B의 연구 분야에서 실험논문의 총 편수에 대한 실험이 이론보다 비중이 큰 논문 편수의 비율은 각각 18(5, 24, 10)%와 7(0, 16, 6)%이다. 산업 분야에서는 각각 4(2, 10, 11)%와 1(3, 7, 2)%이다. 그리고 논문집 A와 B의 연구 분야에서 실험 논문의 총 편수에 대한 이론이 실험보다 더 비중이 큰 논문편수의 비율은 각각 17(9, 12, 12)%와 6(4, 2, 10)%이다. 그리고 산업분야에서 실험논문의 총 편수에 대한 이론이 실험보다 더 비중이 큰 논문 편수의 비율은 각각 4(21, 10, 8)%와 1(3, 3, 1)%이다. 이러한 내용을 그래프로 나타내면 그림 1~3과 같다.

그림 1은 전체 논문 편수에 대한 실험논문 편수를 나타낸 것이다. 실험논문 편수가 감소하다가 증가하고 있다. 대한기계학회논문집 A와 B에 있어서 실험논문편수가 약 50% 이상이다.

그림 2는 실험논문 편수에 대

한 순수 실험논문 편수의 비율을 나타낸 것이다. 논문집 A의 순수 실험 논문 편수 비율이 50%~60% 사이에 있고, 논문집 B의 순수실험 논문 편수의 비율이 70%~90% 사이에 있다.

그림 3은 전체 논문 편수에 대한 순수 실험의 논문편수의 비율을 나타낸 것이다. 논문집 A의 비율은 20%~30% 사이고 논문집 B의 비율은 30%~60% 사이이다.

그림 1~3에서 보듯이 실험역학이 많은 비율을 차지하며 중요한 역할을 하고 있다.

2005년 7월부터 2006년 6월까지 대한기계학회논문집 A에 수록된 실험논문의 주요 내용은 아래와 같다:

가속수명 시험과 부식 특성에 미치는 압축잔류응력, 볼베어링을 이용하는 직선 운동가이드의 진동, Zirlo 피복관의 크리프 특성, 이산화탄소 발생기 마찰특성과 연마관계, 밀링시간 및 속도가 Ibutrofen분말의 입자크기에 미치는 영향, 진동신호 분석을 통한 광디스크 드라이브의 고장원인 분석, 자동차용 CD/DVD 데크의 진동 저감 및 성능, 컨데서 튜브의 직접압출; 증기 발생기 세관의 소성붕괴 압력, OHT 차량벨트 동특성 및 피로수명, 유연구조물 (flexible structure)의 강건제어, 고압 압력용기의 충격저항성, 제하 컴플라이언스법(un-loading compliance)과 직류전위법에 의한 CT시편의 파손평가, 4기통 SOHC 엔진용 로커 암 축의 파

손경계조건, 웨이퍼 변형에 따른 잔류층 분석, 볼트체결 조건에 따른 두 판재의 동적 속성, 2상 주조 스테인리스강의 열화평가, 형상제어 압연기의 추력 모델, 카오스

마이크로의 믹서 개발, Ti Ni/Al 6061 형상기억복합재료의 피로 균열진전에 대한 냉간압연효과, 알루미늄 CFRP 혼성 사각부재의 축 압괴 특성, 철분말의 치밀화 거동, 견인력 및 접촉표면과 접촉 피로수명의 관계, 국부감속 배관 평가법, 초미세 결정립 재료의 소성변형량에 따른 강도변화, 초음파 골밀도 측정, 용접부 피로수명 평가, 복합재료의 열충격 손상평가 십자형 필렛 용접재의 피로강도, 초미세립 순수 티타늄의 피로 특성, 주사 탐침 열현미경의 열전 탐침 제작, 복합재 철도차량 차체의 구조적 특성, 4극 전자기 베어링 설계, 소형 세포 농도센서 개발, 3축응력을 고려한 파괴변형을 기준, 초음파 유량계 시스템 개발, 말뚝 변위 측정 시스템의 정확도 향상, 나노입자를 이용한 마이크로 바이오칩의 전기적 신호검출, 소형 펀치 시험법을 이용한 Al2024 ECAP재료의 강도특성 평가, PDMS/유지 마이크로

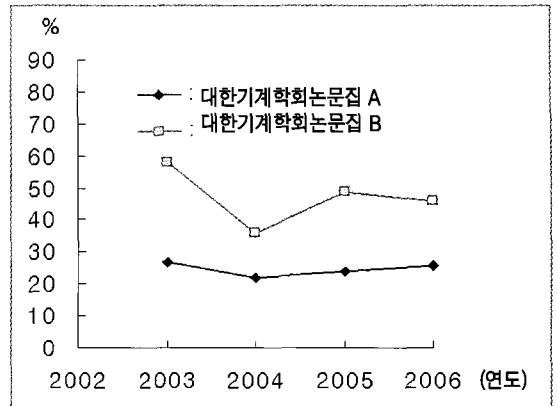


그림 3 전체 논문편수에 대한 순수실험의 논문편수

바이오 칩의 설계 및 제작, 사축식 유압 피스톤 밸브 플레이트 형상과 하우징 진동간 상관관계, 캡슐형 내시경용 마이크로 로봇, 주행장치 프레임의 피로강도, 복합재료의 피로해석, 스윙 암 액추에이터의 설계, AFM 칩의 나노 스케일 접촉-진동해석, 비평면 비선형 진동현상, 탄소나노튜브의 표면 전도도 조절 및 유전영동, 겹치기 및 맞대기 용접부 특성, 카오스 이론을 적용한 보행분석, 에어컨의 구조 소음 저감을 위한 실내기 모터 브라켓의 설계, 톨팅 열차용 볼스터의 구조강도 평가, PC 클러스터기반의 멀티 채널 기사화 모듈의 설계와 구현, 신발의 보행 충격완화장치의 충격흡수력 평가, 지령이 모사 로봇의 모델링 및 실험검증, CFRP 배향각, PZTCA의 작동변위, 곡률 반경 등의 관계, 듀얼레이저를 이용한 부품 제작 및 평가, 회전축의 비틀림파 발생과 감지, 가스 터빈 블레이드 재질의 열처리여 따른

특성변화, 접촉력 및 미끄러짐을 감지 가능한 촉각센서의 개발, 전기 및 유체 동시 접속이 가능한 멀티칩 미소전기 유체 통합 벤치의 설계제작 및 성능, 비선형 초탄성 재료의 구조 설계, 원자력 재료의 평면크기 영향 분석, 후열 처리에 따른 이종 마찰용접 강봉재의 기계적 특성, 증기발생기 세관의 파괴저항특성, 전방 십자인대 재건수술 환자와 정상인의 보행 비교, 복합재료 철도차량 차체 고유진동수, 자동차용 4겹 다층 점용접물의 용접성 및 정적 용접 조건, 밸브 어셈블리의 3차원 마멸특성 분석, 인공신경망을 이용한 계측응력 분류 및 피로수명 평가, 단 섬유 강화 고무의 파열 특성, 바이패스형 MR충격 댐퍼의 설계 및 성능해석, 풍력 발전기 주축 및 날개 부하 측정 시스템의 보정 및 해석, 평판형 압전 복합재료 작동기의 작동변위, 인가 전압 그리고 구동 주파수 등의 관계, lower control arm의 잔류응력, dynamometer 개발, 자기 부상형 위치 결정기구, 공기압 실린더 위치 제어계의 모델링, 소성영역의 현상 측정, 덩돌형 내무구조 금속 샌드위치 판재의 제작 및 정적굽힘 실험, 공기압 근육 구동기의 유한요소 해석 및 성능시험, 구리 - 크롬 소결단조 합금의 크롬 함유량 변화에 따른 동적 물성, 압전 센서의 전극형상 최적화, 마이크로 드릴 마멸의 상태 감시, 제진

재의 최적 배치를 이용한 차량 공조 시스템의 음질개선, 패들형 유동층 건조기 상품화.

2005년 7월부터 2006년 6월 까지 대한기계학회논문집 A에 수록된 실험은 주로 파괴역학, 응력해석, 진동, 가공 및 제작 등에 관한 것이고 각각이 전 실험논문 에 차지하는 비율은 26%, 42%, 8% 그리고 22% 등이다. 이 중에서는 나노 스케일에 관한 실험이 차지하는 비율은 10%이다.

2004년도, 2005년도, 2006년도의 나노 스케일에 관한 실험의 논문 편수는 각각 7(240), 9(253), 8(189)편이다. 괄호안의 숫자는 각 연도의 총 논문의 편수를 나타내고 있다. 각 연도의 전체 논문 편수는 감소하지만 나노 스케일 분야의 논문편수는 거의 일정하다.

2005년 7월부터 2006년 6월 까지 대한기계학회논문집 B에 수록된 실험논문의 주요 내용은 아래와 같다:

극저비속도 세미오픈 임페러의 내부유동, 극저비속도 원심펌프의 성능과 내부유동, 하드디스크 드라이브 동작 시 발생하는 입자크기 분포와 입자당 평균 대저량, 평판 스트립형 히트 파이프의 열 성능, 소형 장기체공 무인기용 왕복 엔진 성능, 충돌 제트/ 유출냉각에서 원형편이 설치된 유출면의 열/물질 전달특성, 티타늄 평활관 및 전열 축진관의 R-13a의 관외측 풀비등 열전달 특성, 노즐 직경 변화에 따른 화염길이, 평면

충돌 제트에서 노즐 길이 단상 및 비등 열전달에 미치는 영향, 입사각이 터빈 동일의 후류 난류 유동에 미치는 영향, 원주 후류의 공진 특성, 회전수 변화에 따른 열전달 및 유동, 열전달 축진관에서 액체 질소의 흐름비 등 열전달 특성, 펌프 연소기의 연소 불안정성, 원심 압축기의 정상 및 비정상 성능, 저신장률 화염소화, 대항류 비예혼합화염, HCCI 디젤 엔진의 연소 및 배기, 수소 확산화염에서 화염온도와 TiO_2 나노 입자의 합성관계, 모형열교환기의 열전달 성능, 알루미늄/산화아연/이산화티타늄 등의 나노유체의 열전달, 층류 유동의 속도분포와 2차유동, 수평 보텍스의 거동, 회전중인 블레이드 표면의 압력섭동, 저 NO_x 연소, X-ray PIV 기법의 개발과 혈액유동, 두 정상기동 주위의 유동특성, 전도 열전달 기구의 열 모세관 효과, 에어콘의 고장진단 알고리즘 개발, 미세알 파울링 저감에 물리적 수처리 기기들의 효과, 인두서의 캐비네이션 억제, 유화연료의 관로 흐름 특성, 메탄 산소 확산화염의 유속변화에 따른 연소 특성, 금속 나노입자와 이온핵과의 관계, TIRE-LII(Time Resolved Laser Induced Incandescence)신호 보정, 연료 분사기의 연료 증발 특성, 재생형 펌프의 수력학적 설계, 나노 스케일의 열전계수 측정기법, 선회류가 스월(swirl)수에 따른 가스 체류시

간과 혼합특성에 미치는 영향, 폴리머 용액의 각 운동량 전달, 마이크로핀 표면, 발열체 기울기 그리고 PF5060 등의 비등 열전달, 탄산나노튜브를 포함한 마이크로 액정의 정전기적 토출, 원심형 혈액 펌프의 최적화 수력설계 및 성능 해석, 핀이 부착된 와이어형 방전극의 형상과 코로나 방전특성과의 관계, 랩온어칩(Lab-On-a-Chip) 내부 미세유동 제어, 피칭 운동의 비정상 유체력, 90° 요철이 설치된 정사각 덕트 내의 압력강하, 곡관부, 그리고 회전 등의 관계, 자동차 후류의 에어 스폐일러의 영향, 마이크로 스케일 표면 온도, 공기 분위기에서 스파크 방전을 이용한 은 나노입자, 서브마이크론 입자의 단극 하전특성, 디젤 기관의 DMM 첨가와 EGR방법 적용에 의한 기관성과 매연 및 NOx 등의 관계, 나노유체 루프형 열사이클을 이용한 냉각장치, 마이크로 채널 내부 미세 협착 부위의 유동 특성, 수직축 항력식 풍력터빈, 입자 홀로그래피의 입자의 광축방향 위치 특성, 회전진동 하는 원주 후류의 유동 구조, 추진 노즐 배치방법에 따른 웨이퍼 이송 속도 평가, 유정란 배아 혈액 유동의 invivo 계측, 블레이드 끝단 및 그 주변의 열전달계수, 저신장을 에지 화염(edge flame)의 진동 불안정성, 마이크로 펌프의 성능, 디젤 기관의 성능 및 배기 배출물 특성, 다점식 피토관,

lead frame 에칭 공정의 특성, 열전달 촉진제를 사용한 원관의 국소 열전달 특성, 마이크로 연소기의 열소염과 화학소염 현상, 흡광 액체의 펄스레이저 가열에 의한 생성된 기포의 거동, 고정된 터빈블레이드의 베인에 대한 상대위치가 변화가 끝 단면 및 슈라운드의 열/물질전달 특성, 직분식 가솔린 엔진 내의 조기 분사 연소 및 배기 특성, 성층 연소의 운전 영역 확대, 연소 및 배기 특성, 고분자 전해질형 단위 연료 전지의 주요 작동 조건이 공기주플러딩 현상에 미치는 영향, 소형 코리올리 질량 유량계, 덕트 종횡비와 회전덕트 내 압력 강화와의 관계, 간접 가열 방식의 연속식, 열처리로 내판(plate)온도 해석, 매달려 있는 액적의 형상 진동 모드, 직분식 가솔린 엔진 내의 압축비 및 흡기 온도와 연소 및 배기 특성 등과의 관계, 알루미늄 나노유체유동 특성, 차세대 고응답 분사용 피에조 인젝터의 노즐 유동 및 분무 특성, 반 실린더 형상을 가진 벤틸레이티드 디스크 브레이크의 국소 열전달.

2005년 7월부터 2006년 6월까지 대한기계학회논문집 B에 수록된 실험은 주로 열전달, 유동, 연소, 성능, 유체기계, 입자 등에 관한 것이고 그들이 각각 전체 실험편수에 대하여 차지하는 비율은 22%, 33%, 24%, 6%, 6% 그리고 5%이다. 이중에서 나노 스케일에 관한 실험이 전체

실험편수에 대하여 차지하는 비율은 14%이다.

2004년도, 2005년도, 2006년도의 나노 스케일에 관한 논문의 편수는 각각 5(204), 6(199), 12(148) 편이다. 각 연도의 전체 논문 편수는 감소하고 나노 스케일에 관한 논문 편수는 증가하는 편이다.

위의 설명에서 보듯이 논문집 A와 B에 실험 논문이 차지하는 비율은 조금씩 감소 하다가증가하고 있다. 그리고 논문집 A와 B의 총 논문의 편수는 각각 감소하고 있다.

그러나 나노 스케일에 관한 실험의 논문편수는 논문집 A와 B에 관계없이 증가하고 있다.

우리나라의 나노 사이즈의 실험역학은 매우 초보단계이다. 그러나 외국에서는 나노 사이즈에 대한 실험역학은 활발히 진행되고 있다.

앞으로는 현장에서 직접 실험을 할 수 있는 실물실험이 연구되어 실물들의 거동이 평가되어야 한다.

그리고 MEMS, IT, NT, BT 등이 발전됨에 따라 그러한 기술에 부응되는 제품들의 내구성을 평가하기 위해서는 반드시 MEMS용 실험역학과 나노 스케일용 실험역학이 발전되어야 한다. 그리고 현재는 파괴역학과 손상역학에도 size-effect가 고려되고 있듯이 나노 스케일과 MEMS에도 size-effect가 고려되어야 한다. 또 나노 스케일에서도 각 재료들의 기본적인 물성치, 거동 등이 평가되어야 한다, 그러한 것을 평가하기 위해서 나노

스케일용 실험역학이 발전되어야 한다. 나노 스케일용 실험을 발전 시키기 위해서는 우리는 새로운 DIC(Digital Image Correlation)화상법, STM(Scanning Transmission Microscope), AFM(Atomic Force Microscope) 그리고 Tormographic Method 등을 이용해야 한다.

그리고 매크로 사이즈의 실험역학, 마이크로 사이즈의 실험역학 그리고 나노사이즈의 실험역학 등의 관계를 확립하기 위해서는 에너지 개념이 사용되는 실험방법이 개발되어야 한다. 즉 SPATE(Stress Pattern Analysis by Thermal Emission)가 더욱더 개발되어야 한다.

[황재석, 영남대학교]

복합재료역학

최근 국내 LCD산업의 급성장과 더불어 대형 LCD 패널 이송용 로봇과 같은 산업용 로봇의 경량 구조용 소재로 주목을 받은 복합재료는, 그 응용의 폭이 우주·항공, 기계, 건설 등 전 산업 분야에서 지속적으로 확대되고 있다. 복합재료는 두 가지 이상의 서로 다른 물질이 거시적으로 혼합되어 각 성분의 특성을 모두 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 각 성분을 혼합하는 방법에 따라 원하는 복합재료의 특성을 얻을 수 있기 때문에 설계의 자유도가 확장된다. 섬유강화 복합재료의

경우는 과거에 주로 사용하던 열경화성 수지뿐만 아니라 세라믹, 탄소, 열가소성 수지 등을 모재로 사용하고 있다. 기능성 경사재료(FGM)와 나노 복합재료 및 탄소 나노튜브가 적용되는 복합재료에 관한 연구도 확대되고 있는 추세이다. 이러한 복합소재의 다양성에 비하여 복합재의 구조해석 및 설계를 위한 역학 분야는 복합재의 이방성에 기인한 수식의 복잡성으로 간단한 구조에서조차 완전한 해석해를 구하기가 어렵기 때문에 수식의 단순화를 위한 가정을 통하여 해석해를 구하거나, 유한요소 등을 이용한 수치해석 기법으로 해를 구하고 있다. 이 글에서는 복합재료 거시역학, 복합재료 미시역학 및 복합재료 샌드위치 구조에 대한 연구 동향을 간략히 소개하고자 한다.

복합재료 거시역학은 섬유와 기지의 성질이 완전히 혼합되어 평균 성질을 나타낸다고 가정하여 응력 및 변형률을 계산하는 방법이다. 간단한 경계조건 및 기하학적 형상을 갖는 복합재료 구조에서는 고전적층판이론(CLPT)이 복합재 평판의 응력 및 변형을 계산에 많이 사용되어 왔다. 이러한 CLPT 이론에 기초한 복합재료 역학 해석 소프트웨어를 이용하는 방법에는 관련 교재의 부록("Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures"의 부록인 "Axiomatic CLPT" 등), 인터넷 상에

서 무료로 배포되는 소프트웨어(The Laminator) 또는 WEB 상에서 구동되는 소프트웨어(PDCMS : Preliminary Design Composite Materials and Structures)를 이용하는 방법 등이 있다. 최근에는 다양한 하중을 받는 평판 및 원통의 두께 방향 및 경계부근의 응력을 정확히 구하기 위한 근사 해석해에 관한 연구, 지배방정식의 비선형 고차항을 고려한 해석해에 관한 연구, 평판 및 원통에 대한 좌굴 및 진동에 대한 정확한 해석해를 구하기 위한 지배방정식의 구성에 관한 연구가 이루어지고 있다. 경계조건이 복잡하거나 비대칭 형상의 구조 등의 해석은 대부분 유한요소를 이용한 수치해석으로 이루어지고 있다. 두께가 얇은 셀 형상의 복합재료 구조의 유한요소 해석은 층간응력 및 필(peel) 응력을 모두 고려한 플라이(ply) 해석이 가능하나, 두께가 두꺼운 복합재료 구조의 유한요소 해석은 유한요소 개수 및 해석시간의 한계로 대부분 직교이방성 물성을 가지는 구조해석으로 제한된다.

복합재료 역학의 미시적 방법은 복합재료 각 층 내의 섬유와 기지를 구별하여 각각에 걸리는 응력과 변형률을 계산하는 방법이다. 미소역학은 단섬유를 이용한 복합재료 구조 성형의 유동해석, 복합소재의 물리적 및 기계적 물성 예측 모델 설정 등에 적용된다. 최근에는 복합재료 구조

의 파괴에 대한 정확한 예측을 위한 모델링과 나노 복합재료와 같은 미소 혼합물의 해석에 미소 역학적 접근 방법을 이용한 연구가 활발하다. 복합재료 파괴 모드 및 파손 기준에 대한 연구는 계속 새로운 이론이 제시되고 있으며, 정확한 예측이 가능한 이론은 아직까지 명확하게 정립되어 있지 않은 상태이다. 균열을 가지는 복합재의 파괴에 대한 연구는 대부분 실험적 연구가 주를 이루고 있으며, 해석적 접근은 직교이방성 성질을 나타내는 복합재료 구조에 국한되어 이루어지고 있다. 또한, 열 및 수분 하에서의 복합재료 구조의 거동 및 응력해석, 고속 및 저속 충격에서의 복합재료 구조의 에너지 흡수능 예측을 위한 해석, 복합재료 구조의 접착부 해석에 대한 연구도 진행되고 있다. 한편, 공간적으로 보강된 복합재료(SRC)의 물성치를 예측하기 위해 라드와 기지의 강성행렬의 중첩을 통해서 임의방향의 강성을 예측하고, SRC의 강도를 예측하기 위해 각 라드와 기지로 구성된 구조요소를 도입하는 연구가 수행되고 있다. 이 이외에도 탄소섬유 건축물의 토우 구조의 미소 거동과 변형 중의 평면 하중과의 관계를 규명하기 위해, 전단변형에 대한 증방향 토의 기하학적 변형량을 특성화하는 연구, 발포 알루미늄의 물성을 예측하기 위해 폐쇄형 발포금속의 밀도가 가우스 분포에 의거하여 확률

적으로 분포한다고 가정하고 수정 단위 모델을 조합하여 유한요소 모델을 제안한 연구결과 등이 발표되고 있다. 나노 복합재료의 파괴인성을 비롯한 기계적 물성은 미소 혼합물의 크기, 첨가량, 분포상태 등에 따라 크게 변화하며, 거시역학이나 마이크로 스케일의 미소역학과 다른 거동을 보이기 때문에 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

복합재료 샌드위치 구조는 굽힘하중을 주로 받는 경량 구조인 항공기, 고속전철, 쾌속정, LCD·반도체용 로봇 팔 그리고 공작기계 등에 적용되고 있으며, 하니컴 코어 벽의 굽힘, 축 방향 및 전단 변형을 고려한 에너지법을 사용하여 하니컴 코어 재료의 각 방향 탄성계수 및 포아송 비와 같은 기계적 물성 값을 구하기 위한 예측 연구결과도 발표되었다. 또한, 기존의 허니콤(honeycomb)을 이용한 샌드위치 구조 이외에도 다양한 물성을 얻을 수 있고 형상이 복잡한 구조의 샌드위치 구조에도 적용이 가능한 폼(foam) 재료를 이용한 샌드위치 구조의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 또한, 항공기나 고속전철의 외판에 사용되는 복합재료 샌드위치 구조는 외부충격에 견뎌야하기 때문에 충격특성의 연구도 중요하다. 한편 복합재료가 주로 사용되는 기계, 수송수단용 구조물 이외에도, 토목, 건축 분야에도 복합재료 역학의 적용이 확대되고 있다. 즉, 섬

유강화 콘크리트 슬래브를 구조적 직교 이방성판으로 간주하고 고전적 직교이방성판 이론에 따른 휨해석 및 유한요소해석을 수행함에 있어, 섬유강화 콘크리트 슬래브를 탄성등가법에 의해 결정된 강성행렬을 이용하여 직교 이방성판으로 모델링할 경우 콘크리트의 균열단면을 고려한 해석이 가능하다는 연구결과가 발표되었다. 콘크리트 타설을 위한 펌프 트럭의 경우, 빌딩의 고층화에 따라 더 높은 이송높이가 요구되고 있어 굽힘 하중을 받는 대형 붐 구조물의 경량화와 진동 안정성을 위해 복합재료의 적용이 확대되고 있다.

점점 현실화되어가고 있는 세계적 에너지 위기와, A780, B7E7 등의 항공기를 포함한 각종 운송 수송수단을 포함한 다양한 구조물의 경량화 요구가 급격히 증대되고 있는 국내외의 상황을 고려하고, 복합재료 구조물의 제조 방법이 매우 다양함을 고려할 때, 금속 구조물의 CAD/CAM 소프트웨어의 통합화 추세를 반영하여 복합재료 구조물용으로 유사한 통합 소프트웨어 수용가 증대될 전망이다. 즉, 필라멘트 와인딩, RTM, 핫 프레스 성형, 오토클레이브 몰딩 등을 포함하는 복합재료 구조물의 제조, 설계, 해석, 가상시제 실험 등의 기능을 통합적으로 제공하는 소프트웨어의 국내 개발 필요성이 대두될 전망이다. [이대길, KAIST]

나노역학

기계 공학 분야에서도 나노 역학이 어느 정도 주요한 연구 주제가 되어 가고 있다. 그리고 그 적용 분야 또한 넓어지고 있는 것이 현실이다. 올해 대한기계학회 통해 발표된 논문 중 나노 기술 및 나노 역학과 관련된 논문 발표 편수는 100편 가량으로 작년과 제작년에 비해 엄청나게 늘어났다. 나노 역학에서 특히 관심을 보이는 분야는 나노임프린트 리소그래피를 비롯한 나노 공정과 탄소나노튜브로 대표되는 다양한 나노 소재에 대한 연구 및 나노 유체 및 나노 입자 등과 같은 나노 재료에 대한 연구였다. 또한 나노 스케일에서의 기계적, 전기적 물성치 측정 기법에 대한 연구도 활발히 진행되었으며, 나노 스케일 현상을 측정, 분석하기 위한 나노 기기들의 제작에 관한 연구 결과들도 발표되었다. 기계저널을 통해서서는 첨단레이저를 응용한 미세 가공기술, 차세대 고분해능 현미경 기술, 나노 유체 연구팀에 대한 소개 등 나노 기술에 대한 국내외적인 정보가 다수 실렸다.

전산 모사 기법

분자동역학 시뮬레이션을 이용한 전산 모사 해석에 관한 논문이 대부분이었으며, 그 적용 분야로는 탄소나노튜브, 금 나노 와이어, PMMA 등 폴리머, 나노 제트, 극초단 펄스 레이저 가공, 나

노채널 대류에서의 열류 분포 등 매우 다양한 재료에 대한 연구가 진행되었다. 전산 모사 기법 관련 논문 총 23편 중 18편이 분자동역학에 관련한 논문이었다. 분자동역학 기법의 성능 향상을 위한 수치 기법을 연구한 논문도 다수 발표되었으며, 이는 병렬처리 기법, 적분 기법 및 앙상블 시뮬레이션의 수치적 안정성 향상을 위한 수치 기법에 관한 연구 결과로 발표되었고, 특히 근접원자 탐색방법을 개발한 논문은 대부분의 분자동역학 시뮬레이션에 적용되어 계산 시간 절감에 기여할 것으로 사료된다. 이러한 지대한 관심과 더불어 분자동역학 시뮬레이션은 향후 나노 역학 시뮬레이션에서 주도적인 역할을 할 것임은 분명하다. 기타 소산적 입자동역학 시뮬레이션, 연속체 모델링을 통한 나노 공정 해석, 멀티스케일 해석, 준연속체 모델링에 관한 논문이 각각 학술대회를 통해 1편씩 발표되었다.

나노 공정 기술

작년과 같이 나노 임프린트 공정을 비롯한 나노 공정에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 특히 나노 임프린트 공정은 나노 스케일의 패턴을 경제적으로 대량 생산할 수 있는 장점으로 인해 여러 연구자들로부터 각광을 받고 있다. 특히 한국기계연구원에서 주도적으로 이 나노 공정에 대한 연구를 진행하고 있으며,

EPS(Elementwise Patterned Stamp)를 이용한 UV 나노 임프린트 공정에 대한 연구 결과 및 나노 임프린트를 위한 가상자기조립단분자 점착방지막 연구, UV 경화 폴리머의 기계적 물성 측정 기법, 재사용 가능한 100nm급 패턴의 쿼츠 마스터 제작에 관한 논문을 발표하였다. 이 외에도 모세관 리소그래피 기술, 레이저 하이브리드 나노 잉크 프rinting 기법, 전기-수력학 프rinting 등 다양한 나노 공정에 관한 연구 결과가 발표되어 총 20편 가량의 논문이 발표되었으며, 시뮬레이션을 나노 공정에 적용한 연구도 다수 발표되었다.

나노재료 및 나노소재

기존의 열전달 매체가 갖고 있는 낮은 열전도율을 개선하기 위한 방법으로 열전도도가 높은 물질을 혼합하는 방법이 제안되어 연구되어 왔고, 최근 나노기술과 계면공학의 급속한 발전으로 인해 모유체에 100nm 미만의 나노입자를 안정하게 분산시킨 100nm 나노 유체가 개발되면서 기존의 문제점들을 획기적으로 해결하였다. 이러한 나노 유체에 대한 연구 결과가 학술대회를 통해 10편이 발표되었으며, 대한기계학회논문지에 1편이 실렸다.

또한, 나노입자의 낮은 용융점, 뛰어난 촉매 특성 및 양자점 효과 등, 일반 벌크 크기의 물질에서 볼 수 없었던 독특한 특성으로 인해 최근 신소재 개발 및 코

팅 등 다양하고 광대한 응용 분야에서 나노 입자에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 흐름에 맞추어 대한기계학회 학술대회에서도 은 나노 입자의 생성 특성에 관한 논문이 2편, 나노 다공성 입자에 대한 논문이 2편 등 총 6편의 논문이 발표되었다.

뛰어난 기계적, 전기적 성질로 인해 차세대 나노 소재로 각광받고 있는 탄소나노튜브(CNT)에 관한 연구가 작년에 이어 올해에도 활발히 진행되었다(학술대회 7편). 탄소나노튜브의 변형 해석을 위해 비편재(nonlocal) 준연속체 기법을 적용한 논문이 발표되었고, 주사형 전자현미경 속에서 나노 매뉴플레이터를 이용하여 CNT의 인장 특성을 평가한 연구 결과도 있었다. 특히, 최근 각광을 받고 있는 CNT로 강화된 폴리머 복합재료에서 나노섬유의 배향에 관한 연구가 발표되었다. 이 외에도 인조나노섬모 구현을 위한 CNT 성장용 나노패터닝 기술, CNT 트랜지스터의 성능향상 기술, 정전기장을 이용해 SWNT micro-drop을 drop-on-demand 방식으로 토출할 수 있는 메커니즘을 제안한 논문들이 발표되었다.

물성 측정 기술

나노 스케일에서의 물성은 거시적 스케일에서의 물성과는 다른 경향을 보이는 것으로 알려져 있다. 이러한 나노 스케일에서의

정밀도로 측정할 수 있는 물성 측정 기법들이 다수 발표되었다. 특히 열전탐침 및 다이아몬드 탐침을 이용한 나노 스케일 열물성 측정 기법에 관한 논문이 학술대회를 통해 3편 발표되었고, 광열편향법을 이용한 단층 및 복층재료의 열전도 측정 기법, 마름모형 AFM 캔틸레버를 이용한 고분자 나노섬모의 점착력 측정, RF MEMS 필터 설계를 위한 몰리브덴 박막의 기계적 물성 측정 기술 등 다수의 논문이 발표되었다.

[조맹효, 서울대학교]

원자력 구조해석 및 설계

2005년도 대한기계학회 학술대회에서 발표된 원자력 구조해석 및 설계와 관련된 논문은, 춘계학술대회에서 3편, 추계학술대회에서 4편, 자동차 구조 안전 및 CAE 공동 심포지움에서 1편 등 총 8편이었으며, 다양한 주제의 논문이 발표되었다. 예년에 비해 논문이 적게 발표된 것은 대한기계학회 춘계학술대회 일정이 한국원자력학회 춘계학술대회 일정과 겹쳤기 때문이라 생각된다.

춘계학술대회에서 발표한 논문을 살펴보면, 강선에 등이 용접부 잔류응력에 기인한 경로 의존성 J-적분 측정에 대한 연구결과를 발표하였고, 김형근 등은 내압이 작용하는 증기발생기 균열 세관의 탄소성 파괴역학해석에 대한 연구결과를 발표하였으며, 최기성

등은 지진 및 냉각재 상실사고 시에 핵연료집합체 하단 고정체의 응력해석 결과를 발표하였다. 한국자동차공학회와 대한기계학회 공동 주최한 자동차 구조 안전 및 CAE 공동 심포지움에서 송기남 등이 경수로 연료용 지지격자체의 충격강도 해석모델 개발 결과를 발표하였는데 구조적으로 상당히 복잡한 지지격자체의 충격강도를 실험값과 유사하게 예측할 수 있는 모델링 기법과 해석기법을 개발함으로써 향후 다른 형태의 지지격자체 특성 예측에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 보인다. 추계학술대회에서 발표한 논문을 살펴보면 송기남 등이 우리나라가 국내외에 특허권을 소유한 가압경수로 연료용 지지격자 개발 현황을 발표하였는데 우리나라가 산업재산권을 주장할 수 있는 지지격자 형상이 16종이나 되고 국내외 특허권을 총 30여건 이상 획득한 것으로 보고하였다. 윤경호 등은 유한요소법에 의한 경수로 핵연료집합체의 낙하충격해석을 발표하였고, 김영환 등은 사용 후 핵연료 건식 분말화 장치 회전축 열 구조 해석 결과를 발표하였으며, 이강희 등은 해외의 어느 최첨단 핵연료 지지격자보다 성능이 우수한 것으로 알려진 최적화 H형 스프링 부착 지지격자(한국원자력연구소에서 개발하여 1997년부터 한전(주) 및 한국원자력연구소가 국내외 특허권을 보유한 지지격

자) 5x5 봉다발의 유동유발 진동 특성 비교 결과를 발표하였다.

[송기남, 한국원자력연구소]

충돌역학

국내의 충돌역학에 관련된 연구는 자동차, 고속전철 등 충돌하중을 받는 구조물의 안전도향상과 휴대전화, TV, CD-RW 등 전자제품의 자유 낙하로 인한 손상 저감을 위하여 다양한 제품 개발 분야에서 진행되어 왔다. 충돌 관련 연구들은 각종 실험을 통한 성능 평가와 함께 유한요소법 등의 수치해석적 방법이 이용되어 왔으며, 최근에는 개발시간 및 비용의 절감을 위하여 해석적 방법의 비중이 증가하고 있다. 자동차의 안전에 대한 관심 및 연구의 필요성 증가로 충돌 관련 연구는 자동차의 충돌안전 부문이 큰 비중을 차지하고 있으며, 자동차 관련 충돌역학 연구는 크게 차체의 충돌해석 및 설계분야와 승객 안전과 관련된 승객거동 해석분야로 구분할 수 있다. 다음은 2005년도 대한기계학회논문집과 한국자동차공학회는논문집에 게재된 충돌, 충격 관련 논문들을 중심으로 국내 충돌역학분야의 연구 활동을 분석한 것이다.

차체의 충돌해석 및 설계분야의 연구는 각종 충돌 관련 법규의 제정과 개정에 대처하기 위한 방향으로 이루어졌으며 설계안의 법규 만족에 대한 평가 및 상품

성 향상을 위한 부품개발에 대한 연구가 진행되었다. 정면충돌에 비하여 승객에게 치명적인 상해를 입힐 수 있는 측면충돌에 대한 차량의 안전도 향상을 위하여 유럽, 북미와 더불어 2003년부터 국내에서는 측면충돌 법규와 측면충돌 신차 평가 법규를 시행하고 있으며 이와 관련한 안전기준 만족 및 상품성을 향상시키기 위하여 두께 변경 및 고강도 강판의 적용 등을 통한 B-필라 부의 최적설계에 대한 연구와 측면충돌 시 승객 상해 저감을 위한 자유운동 머리모형(FMH) 충격시험에 관한 연구들이 수행되었다. 또한, 2005년 10월 1일부터 1단계 법규가 시행된 유럽 보행자 보호 법규에 대비하여 보행자 보호 시험 방법, 시험과 해석의 정확도 및 연관성 향상을 위한 해석기법에 관한 연구와 능동형 후드 리프트 메커니즘(active hood lift system mechanism)의 개발 등 보행자 머리 상해 저감을 위한 범퍼, 후드 등의 부품 설계에 대한 연구가 수행되었다.

승객 안전과 관련된 승객거동 해석분야의 연구는 후방충돌 시 승객의 목 상해 저감을 위한 다양한 연구가 주로 이루어 졌으며, BioRID-II 더미를 이용한 저속 후방 충돌 시 편안성 상해 연구, 목 상해 경감을 위한 머리지지대의 안전성 평가, 시트폼 강성도에 따른 목상해 분석, 저속 후방충돌 시 목 상해 방지를 위한 시트 설

계 방법에 관한 연구 등이 수행되었고, 목 상해 및 머리 상해 평가를 위한 유한요소 인체모델의 개발에 관한 연구들이 수행되었다. 전방충돌 시 승객 안전에 관한 연구로 OOP(Out of Position)에서 에어백에 의한 승객 상해저감에 관한 연구들이 수행되었고, 차량 내 전동휠체어 탑승자의 전방충돌 시 안전에 관한 연구와 측면충돌 및 전복사고 시 승객 상해저감을 위한 측면에어백의 개발에 관한 연구들이 수행되었다.

또한, 경량화를 목적으로 알루미늄이나 마그네슘 합금 등 경량 합금 재료의 이용에 대한 관심이 증대되면서 이종재료의 결합방법에 따른 충돌 특성에 관한 연구가 수행되었다.

[김현영, 강원대학교]

생체역학

생체역학 및 재활공학 응용분야는 대한기계학회, 대한응용생체공학회, 한국정밀공학회, 한국자동차공학회를 중심으로 활발하게 연구되고 있다. 어떠한 공학 분야보다 좀더 인체를 위하고 기존 공학부문의 새로운 활로를 개척선도하는 생체공학분야에 대한 연구와 아울러 21세기 우리나라가 직면하는 고령사회에 대비하여 앞으로 사회 경제적 주요계층인 노인인구의 신체기능을 증진시키고 삶의 질을 개선하기 위한 고령친화 공학에 대한 연구가 발전되고 있다.

Silver & rehabilitation 공학에 관련된 연구로는 맥파전달시간 (PTT)을 이용한 운동시험 예측, 인체 균형 제어 시 혈중 알코올 농도와 COP변위의 상관관계, 편향하중 보행에 대한 역동역학 해석, 고령자의 사위 시 행동 특성 분석 및 생리적 반응 측정, 육소의 보온 성능 평가에 관한 연구, 동력 보행보조기(PGO)의 워커 보행 특성 등의 연구로 고령친화형 재활 공학의 새로운 변화를 제시하였다.

Orthopaedic biomechanics 관련 연구로는 디지털 코리안 인체 모델 구축, 생체 삼두근의 건 단절 후 시간적 경과에 따른 근의 생체역학적, 조직학적 변화에 관한 연구, 동물실험용 골융합 임플란트 시스템 개발, 승차 안락감 해석을 위한 유한요소 인체 모델, 미세 유한 요소법을 이용한 성인병변 관련 골질 변화에 따른 영향 평가, 요추를 이용한 dynamic stabilization systems의 운동학적 분석, 연골 콘드론의 압축 응답에 대한 연구, 유한요소법을 이용한 흉추 해면골의 영역별 형태학적 및 탄성 특성 연구 등의 연구가 진행되었다.

Tissue biomechanics 관련 연구로는 CAD 시스템을 이용한 다공성 PCL 나노파이버 지지체 제작 및 세포 증식에 관한 연구, novel micro-indentation과 biphasic finite element model을 이용한 연골의 compressive properties의 측정에 관한 연구, 3차원 프린팅(3DP)

공정을 이용한 성체줄기세포용 scaffold 제작, 마이크로 패터닝된 실리콘 기질에서 기계적 자극에 의한 인대 세포의 반응 연구 등의 연구가 수행되었다.

또한, 인공근육용 압전복합재료 액추에이터의 적층배향과 작동 성능의 관계 평가, 전기공압식 인공 심장 구동기 개발, 열차 시뮬레이터 조작 시 운전자의 생리학적 반응에 대한 고찰, 지능제어형 인체 창자 문합 수술기구, 스테레오 비전을 이용한 외고정기구로봇의 거동 분석 등의 biomechanics 관련 연구가 구체적으로 제시되었다. [홍정화, 고려대학교]

자연모사공학

자연모사공학(nature inspired engineering)이란 자연의 생물체 및 생체물질의 기본 구조, 원리 및 메커니즘을 모방(mimetics)하고 응용(application)하여 공학적으로 활용하는 기술을 말한다. 흔히 생체모방공학(biomimetics)이라는 용어는 바이오닉스(bionics), 바이오그로시스(biognosis), 바이오미미크라이(biomimicry), 바이오창조공학(bionical creativity engineering) 등의 용어와 동일한 의미로 사용되고 있다. 그리스어로 바이오스(bios)는 생명이라는 뜻이며, 바이오닉스는 biomechanics의 축약형의 의미와 biology와 electronic의 합성어의 의미로 사용되며, Jack E

Steele에 의해서 1960년 Dayton에서 개최된 학술대회에서 최초로 사용되었다. 생체모방공학(biomimetics)이라는 합성어는 1950년대 생체물리학 분야에 혁혁한 과학적 업적을 달성한 미국의 발명가이자 공학자인 Otto Schmitt에 의해 최초로 사용되었다.

올 5월 영국에서 개최된 「Design & Nature 2006」 학술대회에서는 자연과 공학에서의 모양과 형태, 바이오미메틱스, 자연과 건축 설계, 바이오공학, 자연 재료공학, 자연으로부터의 해법, 유지속성(sustainability) 연구 등의 세션에서 논문 발표가 있었으며, 자연과 공학에서의 플래핑-윙의 공기역학적 특성 연구, 생명체의 기능적 정보와 엔트로피, 거미줄의 스피닝 공정의 분자동역학적 바이오미메틱, 자연과 공학에서의 자기치유(self-healing) 공정, 설계 사고 개발을 위한 동물의 모사 등의 초청 강연이 있었다. 나무의 노치 형상을 모사한 최적 설계 방안, 주철 표면의 생체모방 나노-알루미늄 표면 개질, 자연을 이용한 건축물 설계, 생분해성 건축물, 생체모방을 통한 새로운 유탄체 설계, 계란 속 껍질을 이용한 전기방사 스키폴드 제작 등의 논문이 발표되었으며, WIT 출판사의 Design & Nature III 책자에 해당 논문이 수록되었다.

KAIST의 디지털나노구동연구단에서는 극미세 생물체 운동 원리를 모사하여 나노근육칩을 개

발하여, 정보/바이오/나노 기술이 융합된 새로운 원천기술과 핵심 거점 기술의 기반을 구축하고 있다. KIMM에서는 과기부 사업으로서 자연 생명체 중에 존재하는 나노 스케일의 섬모 및 돌기 등을 모사하여 공학적으로 활용할 수 있는 원천기술을 개발하는 연구를 수행하고 있다. 동물의 청각 기관 내에 존재하는 수십 나노 직경의 섬모는 미세한 외부의 소리나 진동 등의 자극에 민감하게 반응하는 기관으로서 최근의 나노공정기술로 섬모를 모사하여 센서로 만들 경우 응용범위가 다양할 것으로 기대된다. 벽과 천정을 자유자재로 기어 다니는 게코 도마뱀의 발바닥은 나노스케일의 수많은 섬모들로 인한 반데르발스힘이 작용한다는 2000년도의 네이처 지의 발표 이후로 나노공정을 통하여 공학적으로 모사하려는 시도가 지속되어 오고 있다. 자연계에서 흔히 볼 수 있는 연(lotus) 잎과 토란 잎의 표면은 마이크로미터 급의 돌기와 나노미터 급의 돌기가 계층적으로 존재함으로 인해 초소수성과 자기세정 효과를 보이고 있다. 이러한 연잎효과(lotus effect)를 낼 수 있는 페인트가 개발되어 시판되고 있으나 실용성에는 아직 여러 가지 문제가 남아 있는 상황이다. 최근 MIT에서는 사막 딱정벌레에서 아이디어를 얻어 초소수성과 친수성 특성을 이용한 “안개로 물을 만드는 필름”을 개발하였다.

살아 움직이는 생명체를 모방

한 로봇은 그야말로 자연 및 생체모방 기술의 결정체로 볼 수 있다. 인간의 움직임과 사고를 모방하려는 인간형 휴먼 로봇, 강아지의 흉내를 낸 로봇, 잠자리나 파리의 날개짓을 모방한 날 수 있는 로봇, 상어나 돌고래의 움직임을 모사하여 만든 물속을 유영하는 로봇, 물 위를 걷는 소금쟁이 로봇 등 다양한 로봇이 선보이고 있다. 건국대 인공근육연구센터에서는 곤충의 날개짓을 모사한 초소형 비행체(MAV : Micro Air Vehicle)를 개발하고 있다. 최근 스탠포드대학에서는 RISE 프로젝트에서 게코 도마뱀의 발바닥을 모사한 폴리머 패드를 사용하는 Stickybot이라는 로봇을 개발하여 수직의 유리 벽면을 기어오르는 결과를 발표하였다.

6월에 개최된 대한기계학회 춘계학술대회에 자연모사에 관련된 많은 논문이 발표되었다. 내이섬모세포의 증폭 메커니즘 모델링 및 분석, 부동 섬모 번들의 역학적 모델링과 응용, Bio AFM을 이용한 기니어피그 와우 내의 나노섬모 측정, 인공 섬모 모사를 위한 금속 나노패터닝 및 CNT 성장 등 나노섬모에 관한 논문들과 플라즈마처리를 통한 초소수성 표면 제작 및 특성 평가, 초소수성 표면의 바이옴메틱스 등의 논문이 발표되었다. 이 밖에도 나노헤어의 성형과 부착 특성에 관한 연구, 대칭형 탐침을 이용한 자연모사 나노구조물의 점착력 측정, 나노헤어의 기계적 특성이 부착에

미치는 영향, 물 위에 사는 곤충의 부양과 가라앉음에 관한 연구, 날개의 모서리 형상이 플레핑 운동의 공기역학적 특성에 미치는 영향 등의 논문이 발표되었다.

자연모사 또는 생체 모방이라 불리는 분야는 오늘날 과학과 공학의 한 흐름을 형성해 나가고 있으며, 국내외적으로 아직도 탐색 연구 단계에 있는 분야로서 자연에 대한 호기심과 관찰력, 그리고 새로운 아이디어의 요구 및 연구개발 등을 통하여 무한히 발전해 나아갈 수 있을 것이며, 최근 관심이 고조되고 있는 다학제간 융합기술 분야로서 발전이 기대되고 있다. [김완두, KIMM]

복합 물리계 해석 및 설계 분야

복합 물리계(multiphysics system)는 여러 물리현상 중 하나 이상의 물리현상이 연성(coupling)되어 작용하는 시스템을 지칭한다. 이 시스템은 두 개 이상의 선형이나 비선형 단일 물리계가 서로 연성이 되어 있어 강한 비선형성을 나타내는 것이 가장 두드러진 특징이다. 현재 연구되고 있는 복합 물리계의 예로는 전기-열 등의 단방향 연성계뿐만 아니라 유체-구조물, 전기-구조물이나 자기장-전기장 등의 양방향 연성계에 대한 관심이 증가되고 있다.

복합물리계는 단일 물리계로는 물리현상 자체의 해석이 불가능했던 MEMS시스템의 수치 해석

연구와 이를 바탕으로 한 최적설계에 관한 연구가 진행되고 있다. 현재는 초기에 개발된 여러 수치적기법과 이론을 근거로 MEMS 구조물뿐만 아니라 모터나 스피커, 음향센서, 악기, 기계음향, 화학적 현상의 기계공학적인 응용 등 전통적인 기계공학에서 관찰할 수 있는 응용 부분을 뛰어넘는 부분까지 연구가 확장되고 있다.

2005년도 이 분야와 관련된 국내 연구 성과를 살펴보면 예년에 비해 관심 대상 시스템의 범위가 상당히 확장되었다는 것을 알 수 있다. 주요 논문집을 분석해 본 결과, 열문제를 해결하기 위하여 유체와 열시스템 사이 대류(convection)와 확산(diffusion)을 고려한 복합물리계 해석의 논문이 두드러지게 나타났다. 이것은 기/전자 제품의 초소형화로 인해 방열, 열제어가 중요한 설계이슈로 등장하기 때문으로 판단된다. 상용패키지 활용과 관련한 동향을 보면, 기존의 상용소프트웨어의 복합물리계 모듈이 빠른 속도로 업그레이드되고 있다. 또한 COMSOL이라는 지배 방정식에 기초한 복합물리계 전용 소프트웨어가 국내 연구자들에 의해 많이 활용되고 있는 것으로 파악된다.

국내에서 주로 다루어진 다물리계 시스템

작년의 연구 동향에서와 같이 국내에서는 다물리계 시스템의 응용 대상이 확장되고 있다. 눈에 띄는 2005년 연구로, 바이오 멤

스(bio-MEMS)부분에서 유체동역학, 유전영동법을 이용한 다물리계 시스템의 해석연구를 들 수 있을 것 같다. Bio-MEMS 관련 수치해석, 그리고 해석된 결과에 기초하여 실제 제작 및 검증하는 활동도 눈에 띈다. 또한 최적설계 기법이 다물리복합시스템 설계에 적용된 연구도 눈에 띈다. 예를 들어, 마이크로 믹서의 유동과 열변환의 시스템의 복합물리계 해석과 효과적인 마이크로 시스템의 설계에 대한 연구를 들 수 있다. 압전소자(piezoelectric material)를 이용한 MEMS시스템의 의학분야에 대한 연구도 보고되고 있고, 또 자기변형 현상(magnetostriction)을 이용한 센서 및 가진기에 관한 연구도 보고되고 있다. 2005년도 눈에 띄는 새로운 응용주제는, 레이저를 이용한 쾌속조형(rapid prototyping) 시 발생하는 화학적 현상과 관련하여 유체-구조 연성 수치해석 기법연구를 들 수 있다. 2005년에는 다양한 다물리계 시스템 해석에 대한 시도가 있었지만, 새로운 복합물리계 시스템의 모델링 등 이론적 연구가 상대적으로 많지 않았다는 점이 아쉬운 점으로 남는다.

복합 물리계에 대한 전산 수치 해석 및 최적설계 연구

효율적인 복합물리계 설계를 위해서는 무엇보다도 복합 물리 현상에 대한 정확한 해석과 이를 이용한 최적설계를 수행해야 할

것이다. 국내에서는 압전소자와 전기-열-구조 시스템을 이용한 마이크로 가진기의 수치해석 및 최적설계, 유체와 구조물의 커플링을 이용한 최적설계가 주로 연구되었다. 또한, 작년에 이어 올해에도 마이크로 가진기에 대해서는 신뢰성 평가, 공정을 고려한 최적설계 및 강건설계(robust design)에 대한 연구결과가 보고되었다. 하지만, 앞 절에서 언급되었듯이 새로운 복합물리계를 수치적으로 모델링하는 연구와 이를 이용한 최적설계 분야는 국내외적으로 부진한 것으로 보인다. 구조 최적설계기법에 대한 연구는 상당히 눈에 띄는데, 만약 그 연구결과를 다물리복합시스템의 최적설계에도 활용될 수 있다면 좋은 연구결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

복합물리계 해석 및 설계에 대한 국내 연구동향을 전체적으로 정리해보면 다음과 같다. 복합물리계 해석 및 최적설계와 관련하여 꽤 많은 연구성과가 얻어졌는데, 그 중에서 복합물리현상의 예측 모델을 이용하여 실제 시스템에 적용하는 연구가 가장 활발한 것으로 보인다. 하지만, 새로운 복합 물리계의 해석이론에 대한 연구는 상대적으로 부진한 것 같다. 앞으로 상대적으로 부진한 이 분야에서 대한 많은 연구결과가 얻어지기를 기대해본다.

[김윤영, 서울대학교]